

Yleistä aurinkoenergian hyödyntämisestä

Antti Kosonen

email: antti.kosonen@lut.fi

mob. +358 40 833 7749

twitter: @AnttiJKosonen

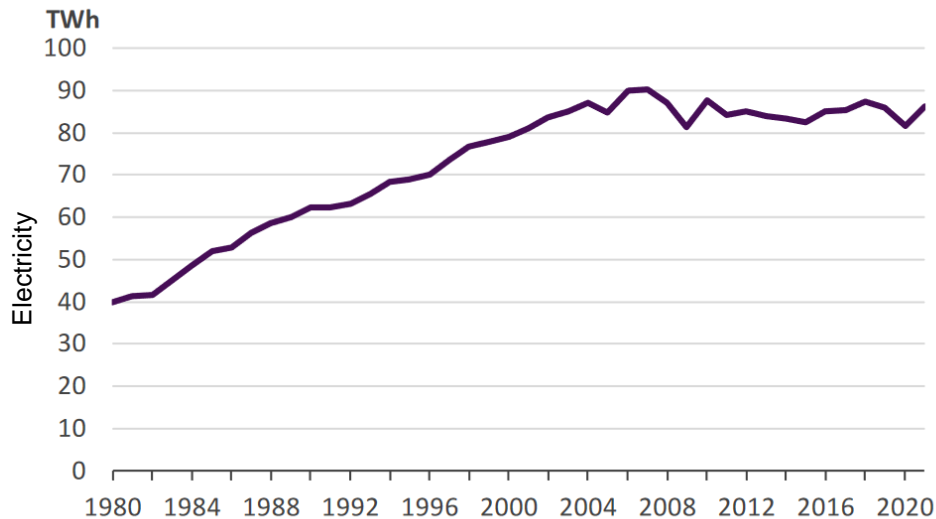
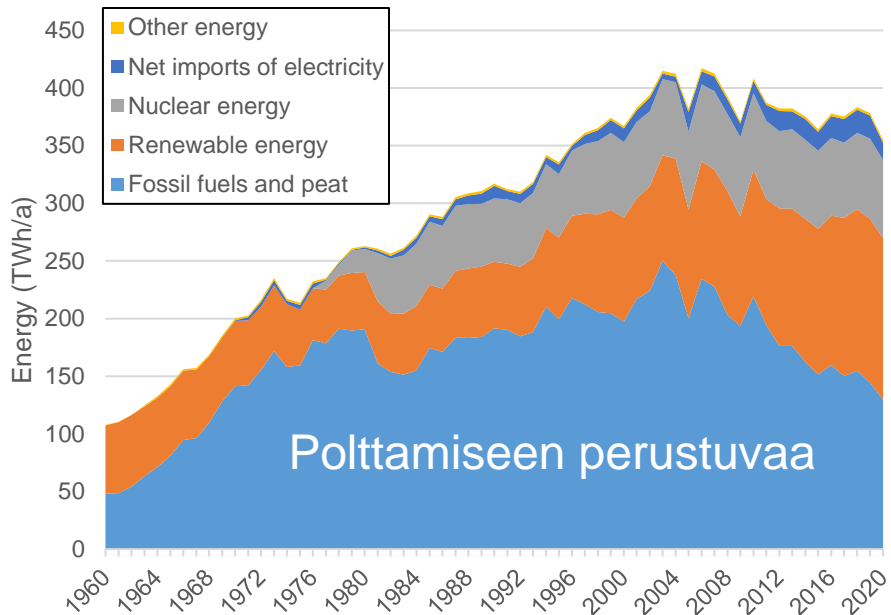


Johdanto

Uusiutuva sähköenergian tuotanto



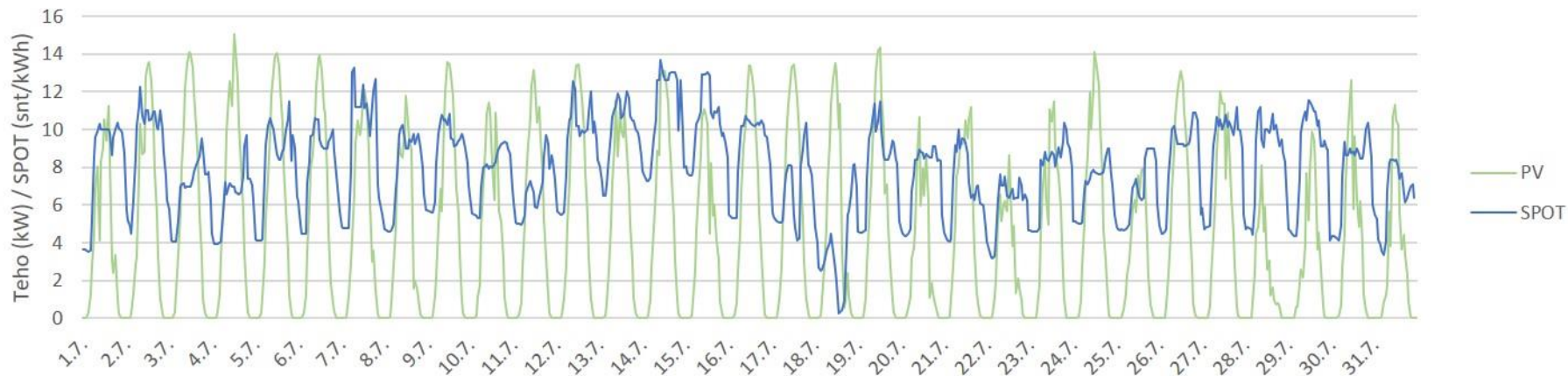
Energiankäyttö Suomessa



Lähde: Energiavuosi 2021, Sähkö, Energiateollisuus 2022;
Energian hankinta ja kulutus, Tilastokeskus 2021.

Aurinkosähköstä vajetta Suomessa

- Tuulivoiman lisääminen ei helpota kesän kysyntähuippuja!
- Vuonna 2022 aurinkosähköä oli kannattavampaa myydä verkkoon päivällä ja ostaa sitä yöllä verkosta kuin käyttää tuotettua sähköä itse!



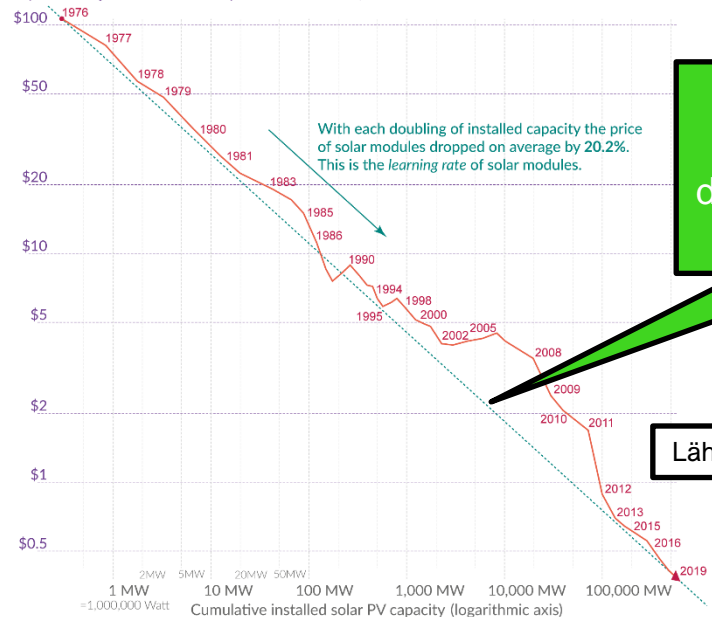
Kuva. Aurinkosähkön tuotanto [@nollaenergiahirsitalo](https://nollaenergiahirsitalo.fi) ja sähkönhinta sähkömarkkinoilla heinäkuussa 2021.

Aurinkopaneelien hinnan kehitys

The price of solar modules declined by 99.6% since 1976

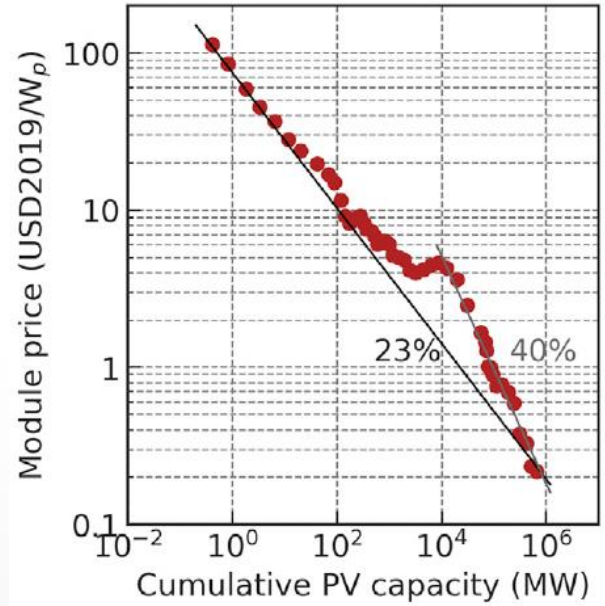


Price per Watt of solar photovoltaics (PV) modules (logarithmic axis)
The prices are adjusted for inflation and presented in 2019 US-\$.
OurWorldinData.org - Research and data to make progress against the world's largest problems.



Lähde: IRENA.

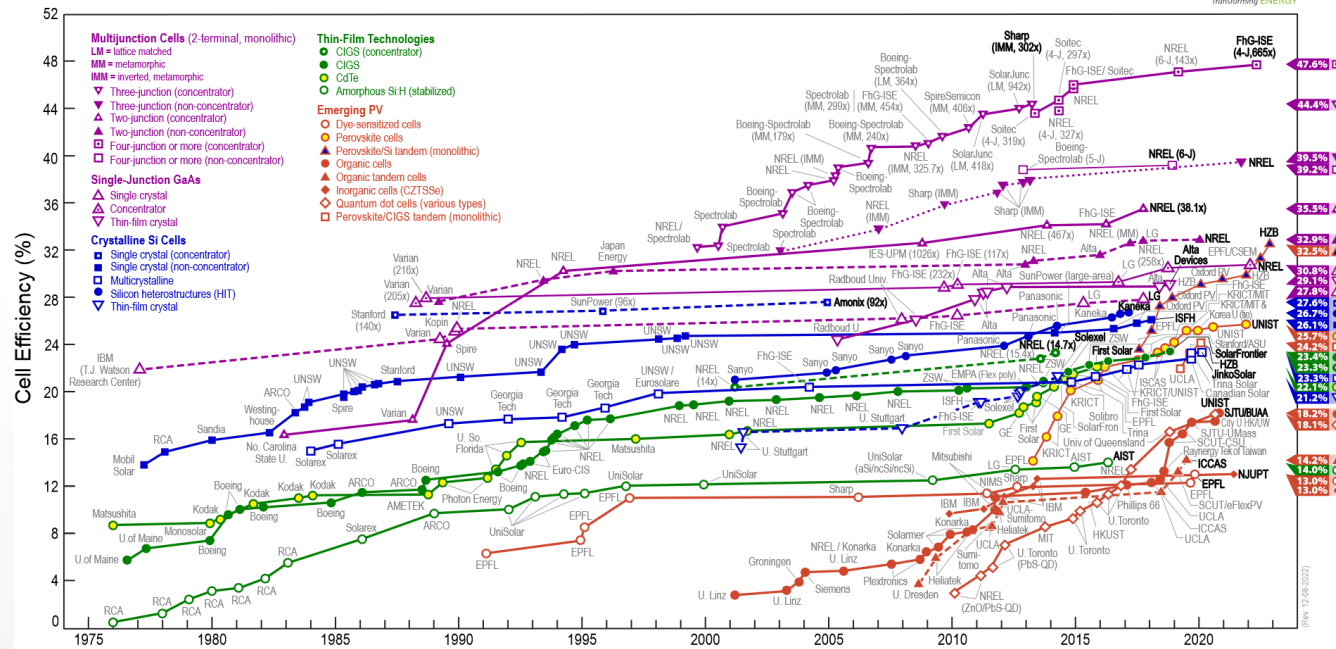
Data: Lafond et al. (2017) and IRENA Database; the reported learning rate is an average over several studies reported by de La Tour et al (2013) in Energy. The rate has remained very similar since then. Licensed under CC-BY by the author Max Roser



Lähde: M. Victoria et al., Solar photovoltaics is ready to power a sustainable future, Joule 5 (2021) 1–16, <https://doi.org/10.1016/j.joule.2021.03.005>.

Aurinkokennojen hyötysuhteen kehitys

Best Research-Cell Efficiencies

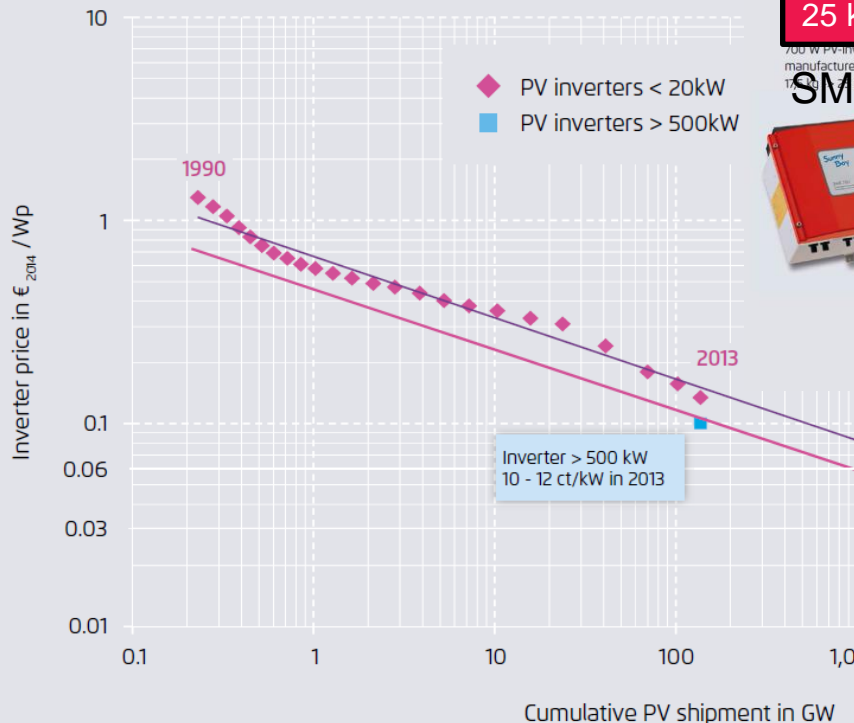


Aurinkopaneelit

- 250 Wp (15 %) v. 2015
- 360 Wp (21 %) v. 2022



Aurinkosähköinvertertien hinnan kehitys – kasvava tehotiheys



700W, 1995
25 kg/kW



6 kW, 2005
10.5 kg/kW



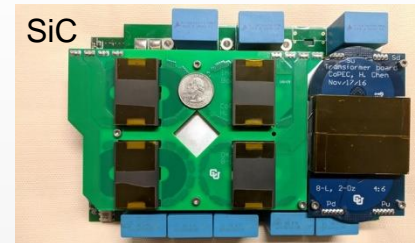
25 kW, 2014
2.4 kg/kW



60 kW, 2018
1.2 kg/kW



400 kW, 2023
0.25 kg/kW



Valmistetun kapasiteetin tuplaus on laskenut yksikköhintaa 19 %:lla

Maailma sähköistyy (PtX), kun päästöistä halutaan päästä eroon

How Bill Gates aims to save the planet

ENERGIA | Tuula Laatikainen | 12.4. klo 14:47

Shell aikoo maailman suurin sähköyhtiöksi - synteettiset polttoaineiden tuotanto ki...



▲ An artist's impression of what Carbon Engineering's ambitious direct air capture plant would look like when completed. Photograph: Carbon Engineering

It's a simple idea: strip CO2 from the air and use it to make synthetic fuels. But can it work on an industrial scale?

It's nothing much to look at, but the tangle of chimneys and ducts on a messy industrial site in western Canada could just be the start of a tipping point into runaway climate change and conventional fuel.

JAA ARTIKKELI



Öljy-yhtiönä tunnettu Shell visioi kasvavan sähköyhtiöksi 2030-luvulle mennessä. Se tavoittelee sähköntuotannon omistajaksi.

Tavoitteeseen päästäkseen yhtiön on tosin hankittava valtavia määriä uusiutuvaa sähköntuotantoa. Yhtiön pitäisi kasvattaa sähköntuotantoaan arviolta kymmeniä kertoja nykyisestä.

Sementtitehtaan päästöistä p... Lappeenrannassa suunnitella harvinaislaatuista pilottilaitos Professori: "Olemme suuren k...

Synteettisesti valmistettaville polttoaineille on määriteltävä kysyntä, sanoo Lut-yliopisto.

| Synteettinen polttoaine | 28.1.2020 klo 09:00



Sementtintuotannossa iso osa hiilidioksidipäästöistä aiheutuu sementin raaka-ainetuotannosta Lappeenrannan-tehdas.

"Muutos vähentää Suomen hiilidioksidipäästöjä 7 prosenttia" - SSAB lupaa hurjia: Yhden tehtaan mullistuksesta valtava vaikutus

28.1.2020 12:16 | päivitetty 28.1.2020 12:25 | YMPÄRISTÖ | TEOLLISUUS | TERÄS | RAAKA-AINEET | METALLIT

Terästehtaat ovat suurimpia hiilidioksidin päästäjiä Suomessa ja Ruotsissa. Toteutuessaan SSAB:n tehdasmuutoksella olisi tuntuva vaikutuksia koko Suomen päästöihin.



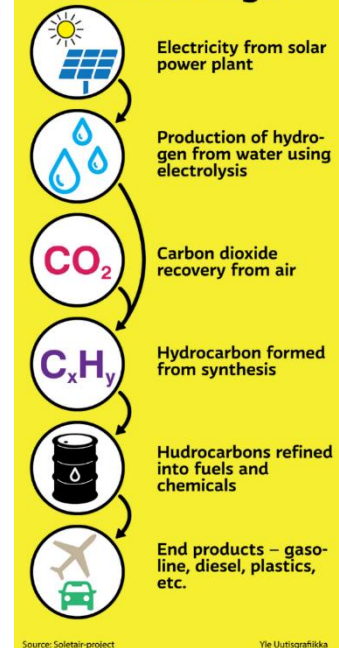
SSAB aikoo vähentää päästöjään. SSAB:n Raahen tehdas on ollut monena vuotena suurin yksittäinen hiilidioksidipäästäjä Suomessa. Arkitokokuva vuodelta 2017. KUVA: PETTERI PALASMAA



Ruotsalais-suomalainen teräsyhtiö SSAB aikoo vähentää päästöjään suunniteltua nopeammin aikataulussa. Päätöksellä voi olla väliä koko Suomen päästöjen kannalta, sillä SSAB on suuri hiilidioksidipäästäjä.

Yhtiö lupaa hiilidioksidipäästöntöntä terästä markkinoille juu vuonna 2026. Alun perin fossiilivapaata terästä piti tuoda markkinoille vasta vuonna 2035.

Hydrocarbon from air and sunlight



Source: Soletair-project

Yle Uutisgraafikka

Aurinkosähkön potentiaali

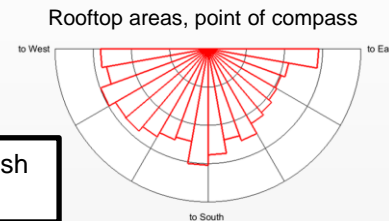


Suomessa asuinrakennusten kattojen potentiaali ~10 GWp

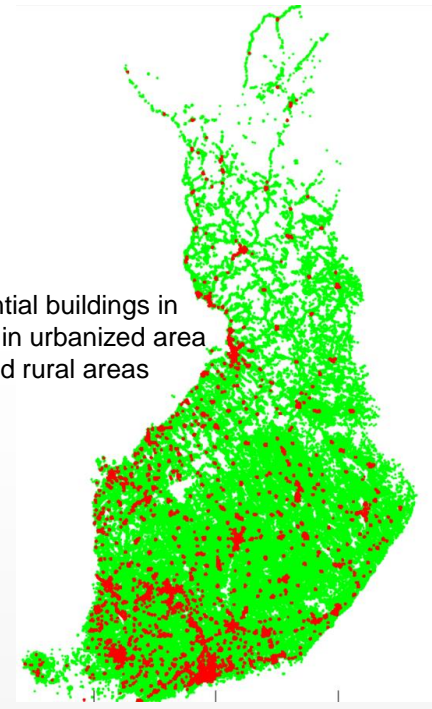
Building type	Amount	Rooftop surfaces, m ² (1)	Rooftop potential, S _n , MVA (2)	PV peak, P _{max} , MW (3)	Avg. roof, m ² /roof
Residential	1 319 444	242 173 933	12 109	7 350	184
Public	71 685	62 197 484	3 110	1 880	868
Leisure	488 763	36 877 551	1 844	1 110	75
Industry	30 259	47 496 085	2 375	1 450	1 570
Other	3 127 670	299 327 488	14 966	9 033	574
Total	5 037 821	688 072 541	34 404	20 823	137

- 1) Total surface areas of buildings
- 2) Nominal power of panels. Based on assumption that only southern side of roofs (all ridge type) are utilized with 70% panel filling factor
- 3) Maximum power taking into account point of compass of buildings and geographical location in Finland

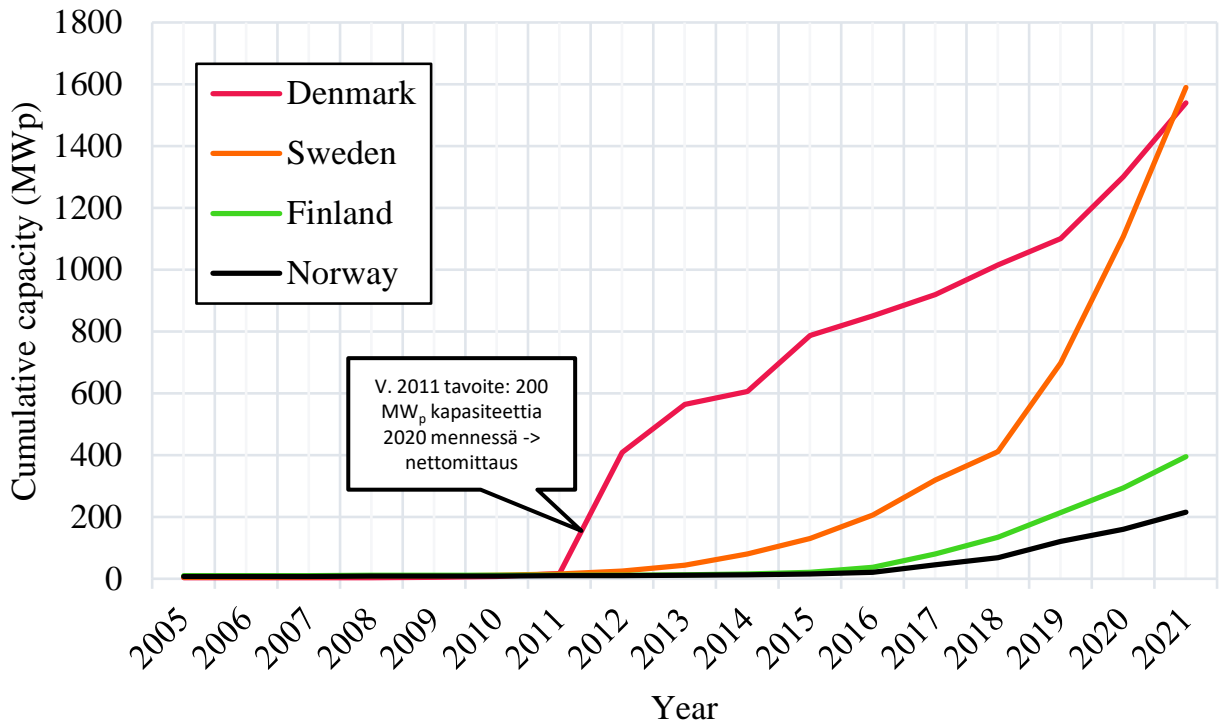
Lähde: Jukka Lassila, et. Al., Nationwide Photovoltaic Hosting Capacity in the Finnish Electricity Distribution System, EUPVSEC 2106, Munich, June 2016.



Residential buildings in Finland in urbanized area (red) and rural areas (green)



Pohjoismaissa n. 3,5 GWp kapasiteettia vuoden 2021 lopussa (395 MWp Suomi 2021)



V. 2011 tavoite: 200 MW_p kapasiteettia 2020 mennessä -> nettomittaus

Vuoden 2019 kansallinen aurinkosähköraportti:
 National Survey Report of PV Power Applications in FINLAND 2019, saatavissa: www.iea-pvps.org

Kapasiteettia vuoden 2021 lopussa 942 GWp, +175 GWp @ 2021

Lähteet:

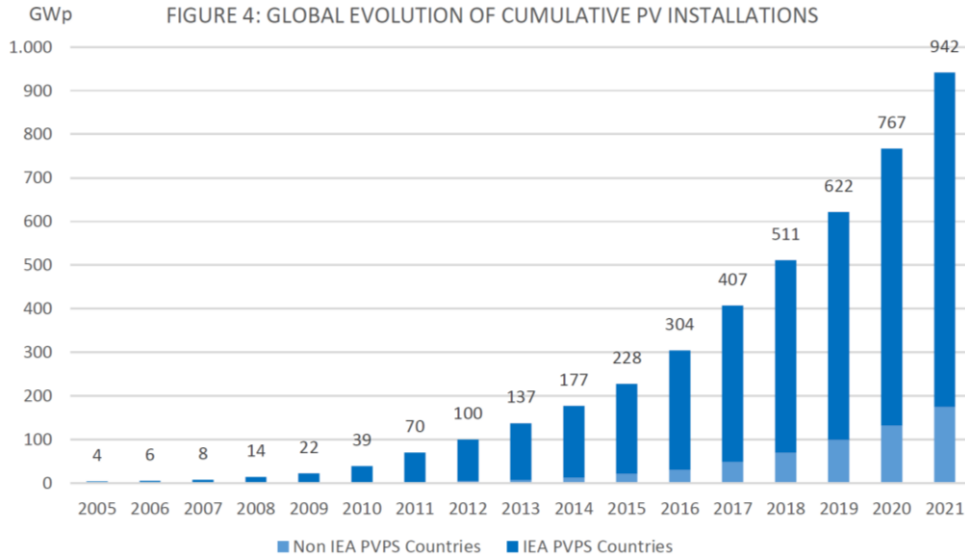
IEA PVPS, Snapshot of Global PV Markets 2022, saatavissa:

www.iea-pvps.org

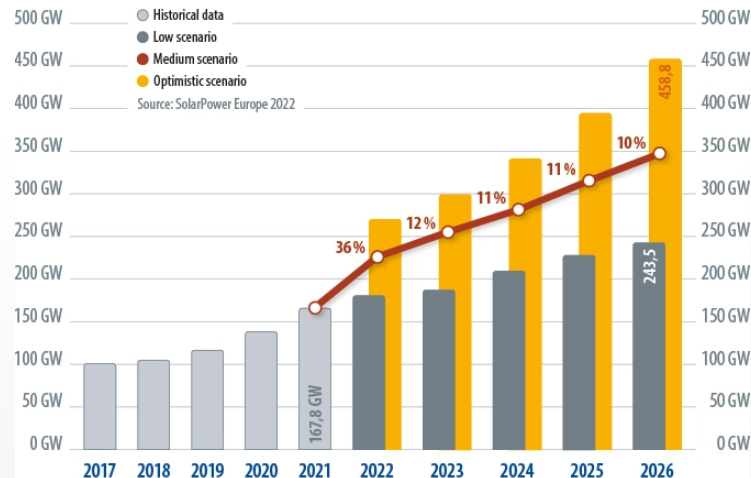
PV Magazine – [From 300 GW to 3,000 GW per year – a utopia?](#)

- 1 TWp raja ylittyi 03-2022 ⇒ seuraava TWp rakentuu kolmessa vuodessa
- Tänä vuonna arvioidaan kasvun olevan 300 GWp/a

FIGURE 4: GLOBAL EVOLUTION OF CUMULATIVE PV INSTALLATIONS

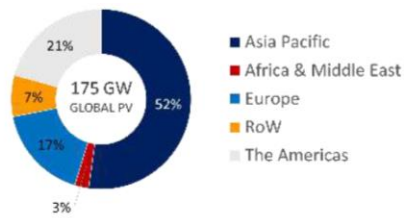
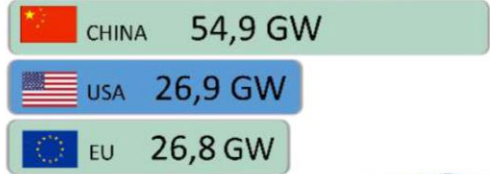


Scenarios for the development of the global PV market 2022 to 2026

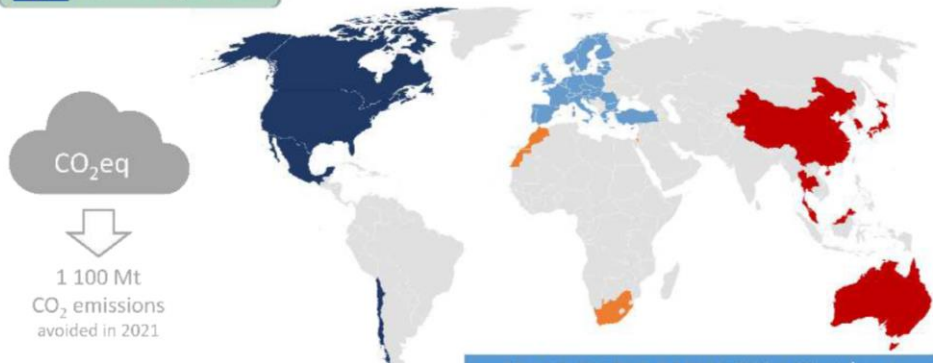


Päämarkkinat vuonna 2021 ja asennettu kapasiteetti

TOP PV MARKETS 2021

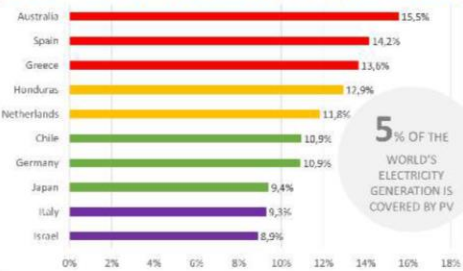


- 942 GW were installed all over the world by the end of 2021
- China is the world's #1 PV market
- 20 countries installed at least 1 GW of PV in 2021
- 15 countries have installed at least 10GW of cumulative capacity at the end of 2021

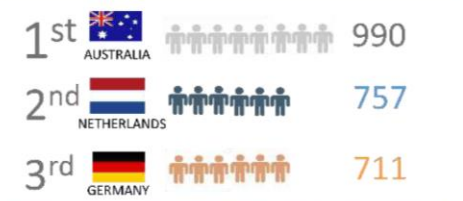


CO₂eq
1 100 Mt
CO₂ emissions avoided in 2021

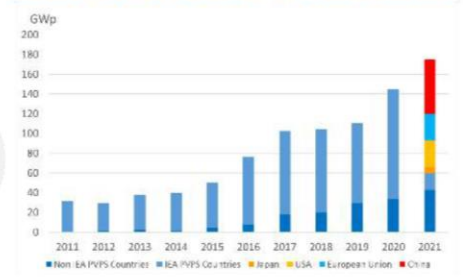
COUNTRIES WITH HIGHEST PV PENETRATION



SOLAR PV PER CAPITA 2021 Watt/capita



EVOLUTION OF ANNUAL PV INSTALLATIONS



Finland 102 MW

xxth Finland 72

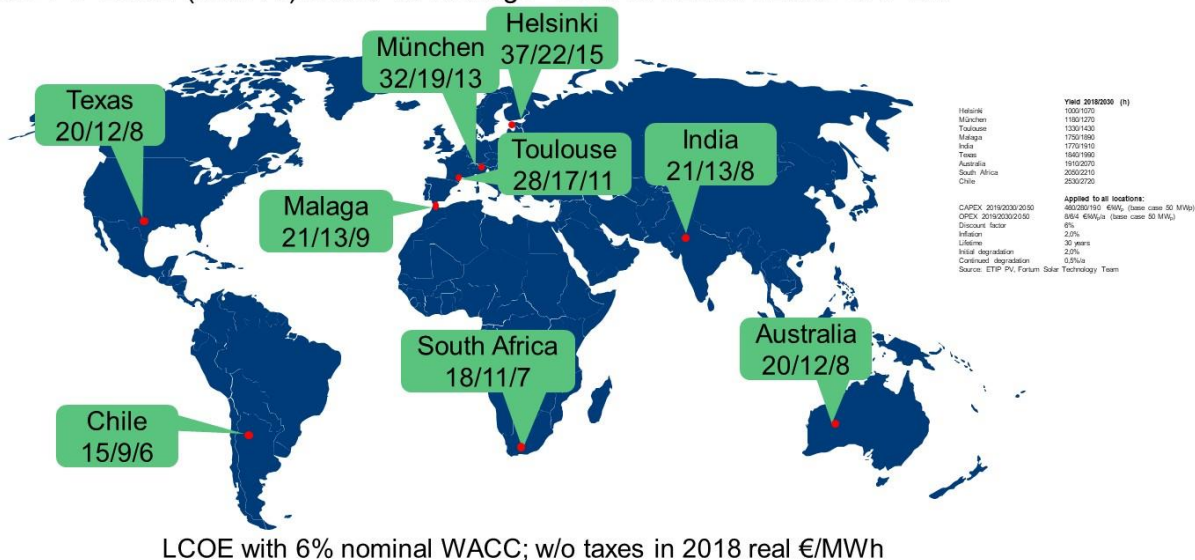
Lähde: IEA PVPS, Snapshot of Global PV Markets 2022, saatavissa: www.iea-pvps.org

Aurinkosähkön tuotantokustannus

Aurinkosähkö on halvinta jo melkein joka puolella maailmaa

900 MW @ 1.54 € snt /kWh

Utility-scale PV LCOE (€/MWh) based on average 1Q2019/Y2030/Y2050 CAPEX



LCOE with 6% nominal WACC; w/o taxes in 2018 real €/MWh

Lähde: Fortum



Dubai's Dewa gets record-low bid to build solar-power plant

Tender bid quotes 1.7 cents per kilowatt-hour for Dubai photovoltaic plant

Published: October 13, 2019 17:13

File: Visitors look at the model of Mohammad Bin Rashid Al Maktoum Solar Park in Dubai, at DEWA pavilion during the Abu Dhabi Sustainability Week 2018 at ADNEC.

Image Credit: Abdul Rahman/Gulf News

Lähde: Gulf News

Matkalla kohti puhtaampaa ja aurinkoisempaa tulevaisuutta



Off-Grid Solar PV-Wind Power-Battery-Water Electrolyzer plant:

Simultaneous Optimization of Component Capacities and System Control

Alejandro Ibáñez-Rioja, Lauri Järvinen, Pietari Puranen, Antti Kosonen, Katja Hynynen
Vesa Ruuskanen, Jero Ahola and Pertti Kauranen

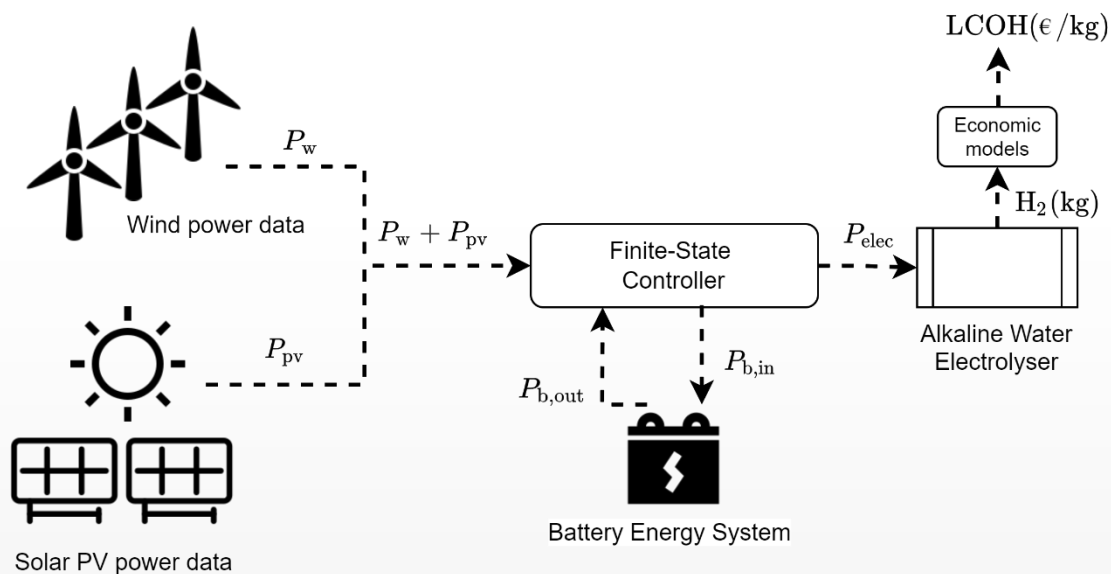
Review process in progress



P2X
ENABLE

System description

- Off-grid Solar PV + Wind Power + Battery Energy Storage + 100 MW Alkaline Water Electrolyzer
- 30 years plant simulation with 5 min resolution



System description

Solar PV

- Data collected from southeastern Finland 2021-5min resolution
- Degradation included
- Peak power capacity is optimized

Wind power

- Data collected from southeastern Finland 2021-10min resolution
- Nominal capacity is optimized

Battery Energy Storage System

- Round trip efficiency: 92%
- Degradation and replacement included
- Capacity is optimized

Alkaline water Electrolyzer

- Fixed nominal power capacity: 100MW
- Minimum power: 20% nominal capacity
- Degradation and replacement included

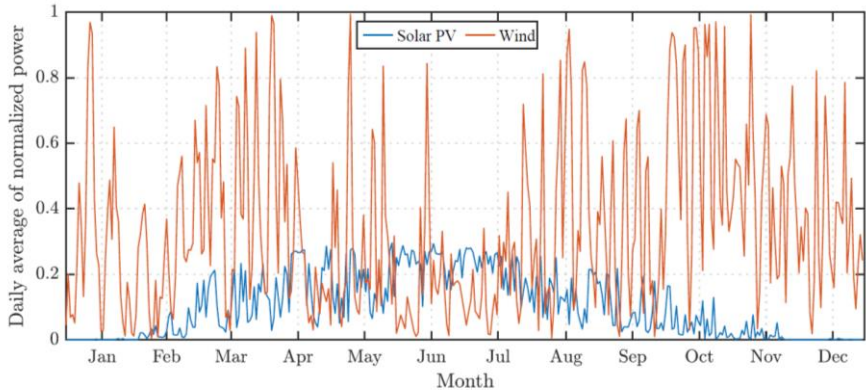


Fig. 2: Daily average power values of the normalized solar PV and wind power time series from data collected in the year 2021.



System optimization

- Simultaneous optimization of system control and component capacities

- 11 Variables

- x_1, \dots, x_8 → related to system control

- x_9 → Solar PV peak power

- x_{10} → Battery capacity

- x_{11} → Nominal Wind power

- 30-years lifetime plant simulation – 5min time resolution

- Technical models → Energy management, degradation, replacements and H₂ production:

$$m_{\text{H}_2}(x_1, \dots, x_{11}) \text{ (kg H}_2\text{)}$$

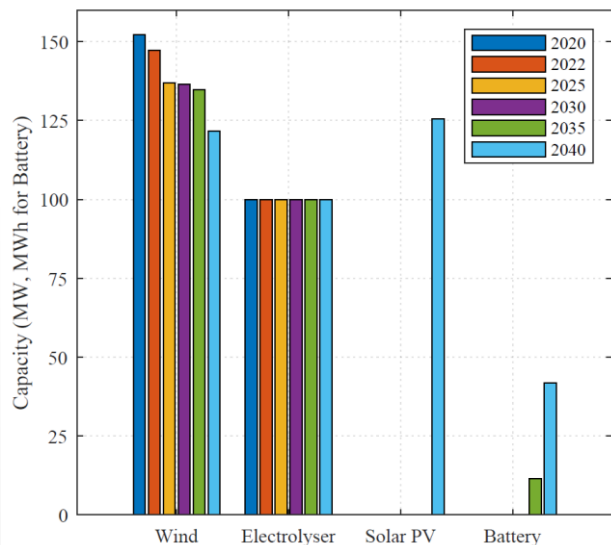
- Economic models → CAPEX & OPEX, Discount rate and Learning curve → Levelized Cost Of Hydrogen (LCOH in €/kg)



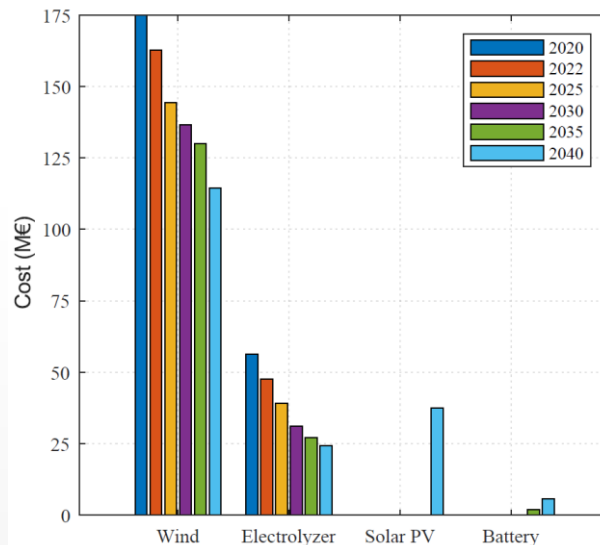
**P2X
ENABLE**

Results – Different Installation years

- Based on learning curves, plant optimization in 2020, 2022, 2030, 2035, 2040
- Optimal capacities: *solar PV not included until 2040*

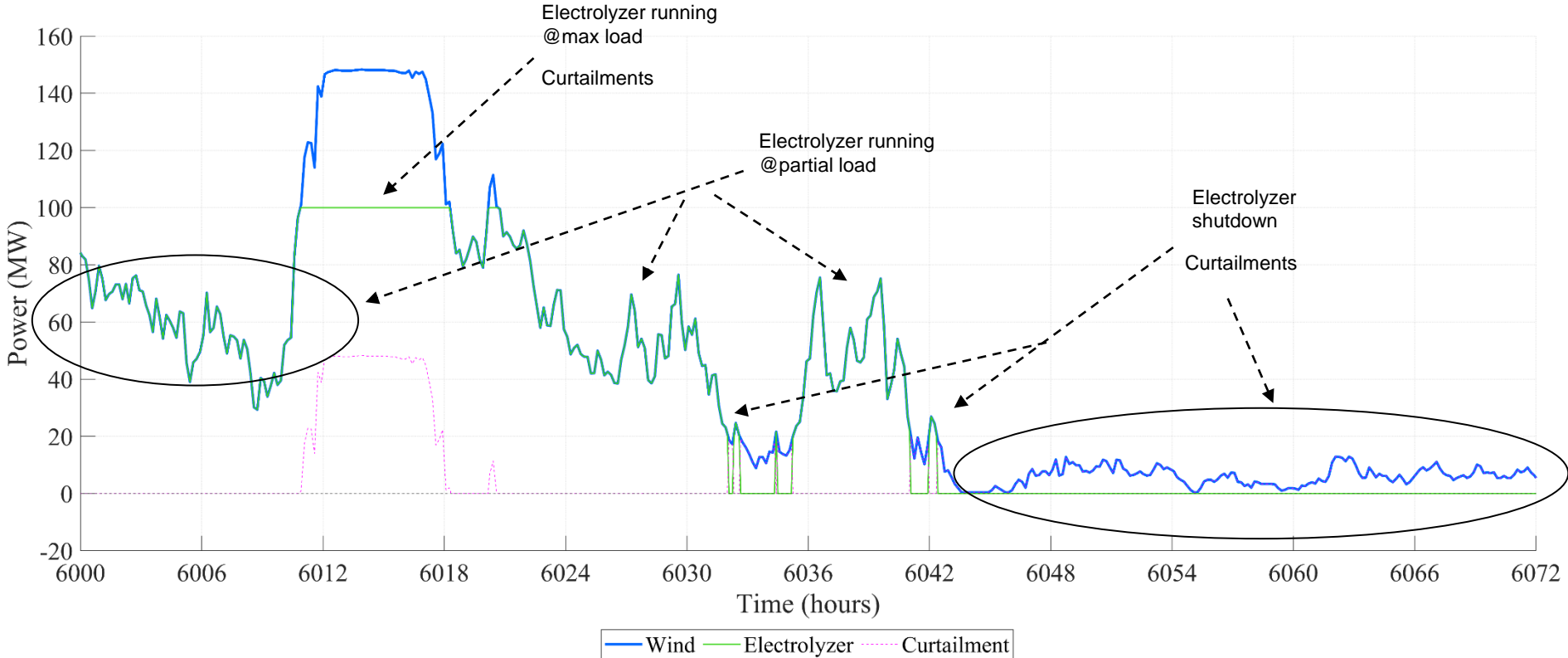


- Initial costs

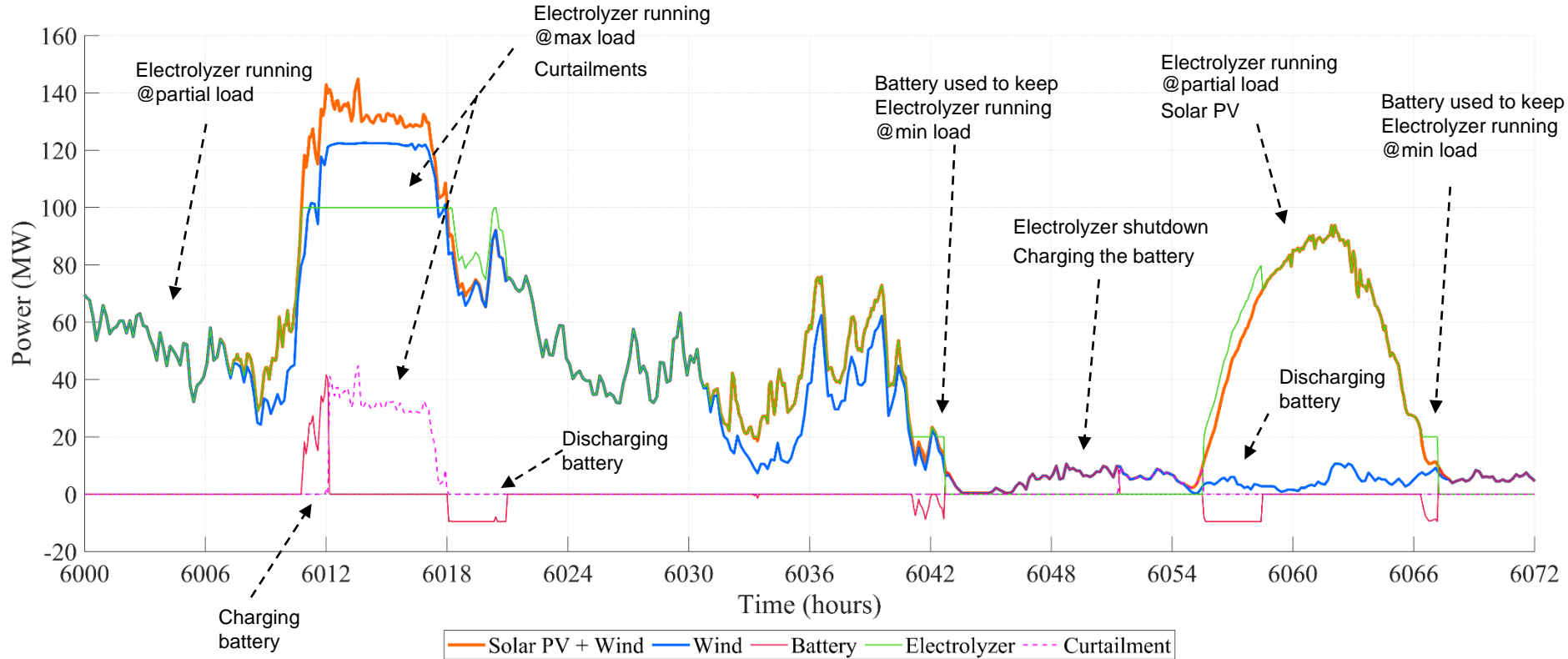


P2X
ENABLE

Control – 2022 Plant configuration



Control – 2040 Plant configuration



Curtailments?

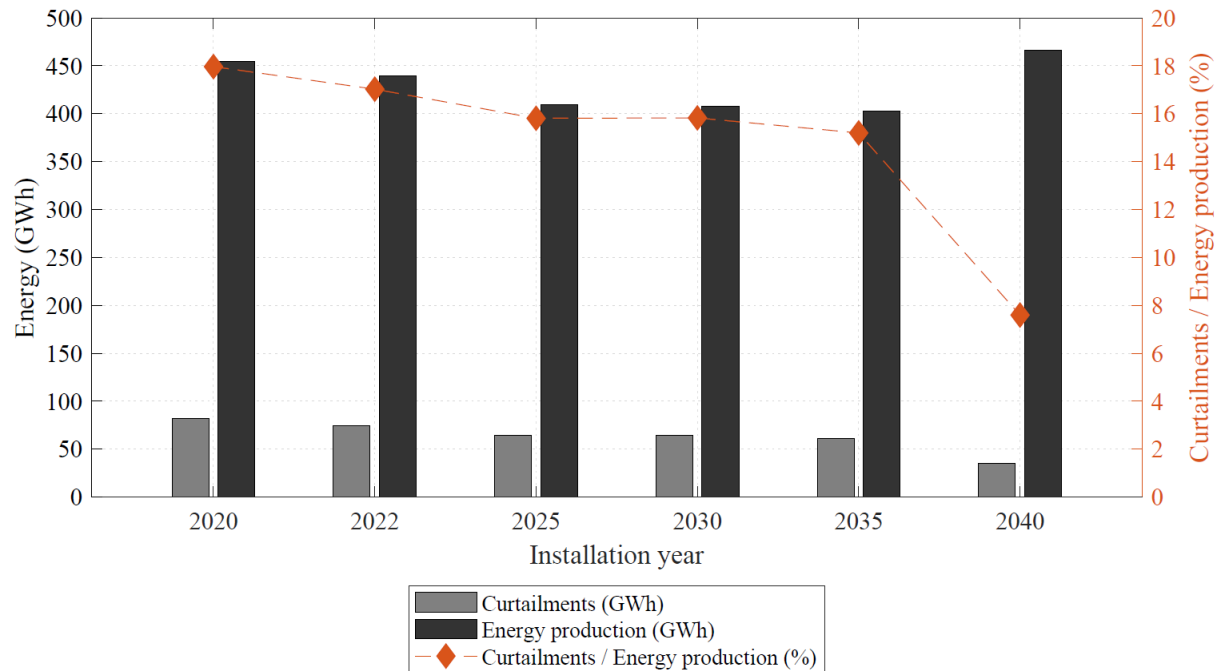
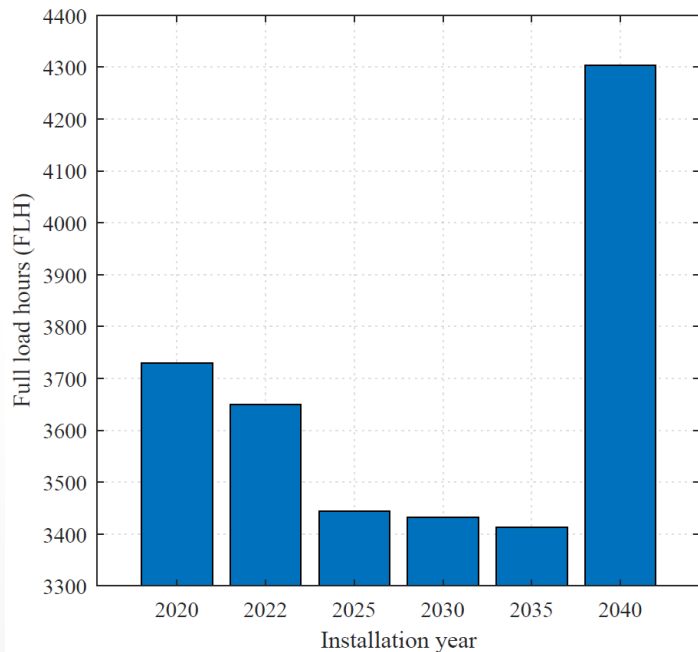


Fig. 8: Annual energy production from the solar PV and wind installations, and annual curtailments for each installation year simulated. The values are calculated as the annual average of the 30-year plant simulation.

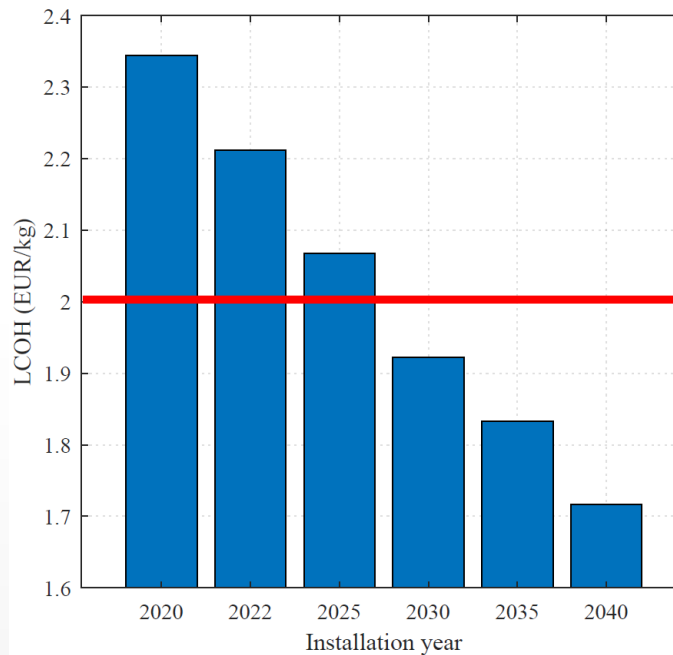


Results

■ Full load hours Electrolyzer



■ Levelized Cost Of Hydrogen (LCOH)

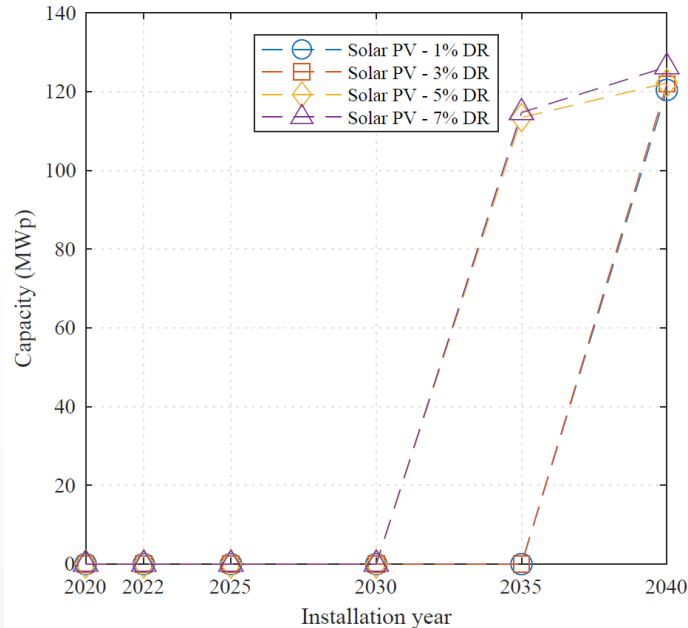


**P2X
ENABLE**

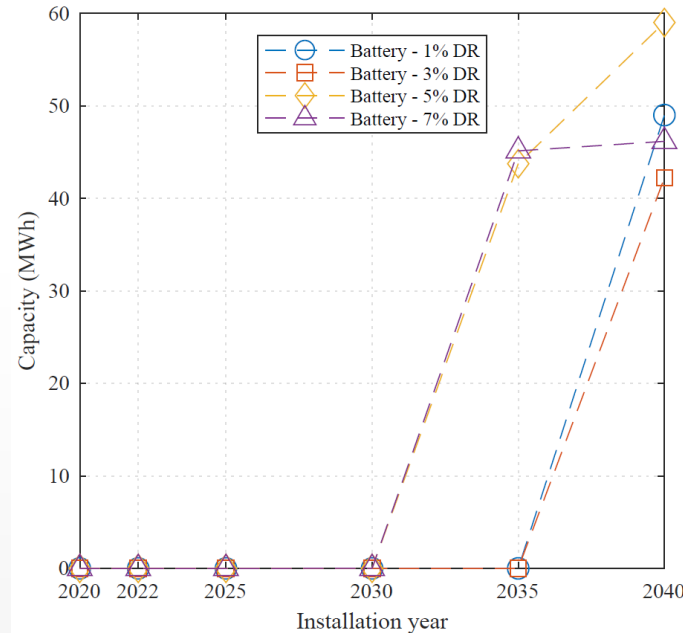
Results – Discount rate analysis

- Optimization with 1%, 3%, 5% and 7%

- Solar PV

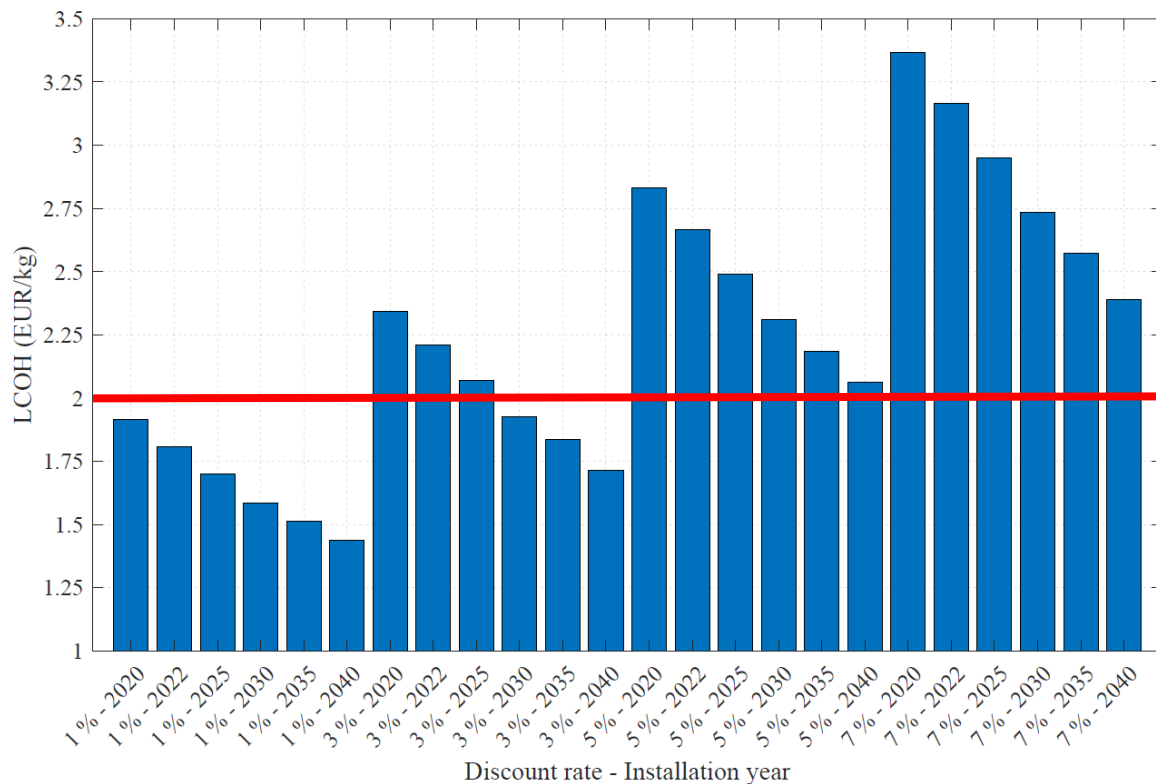


- BESS



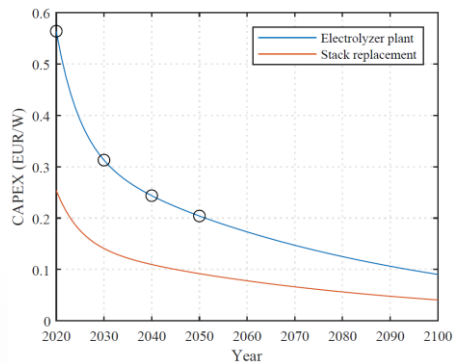
P2X
ENABLE

Results – Discount rate analysis

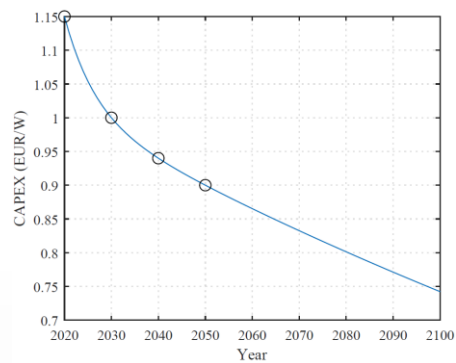


Learning curves

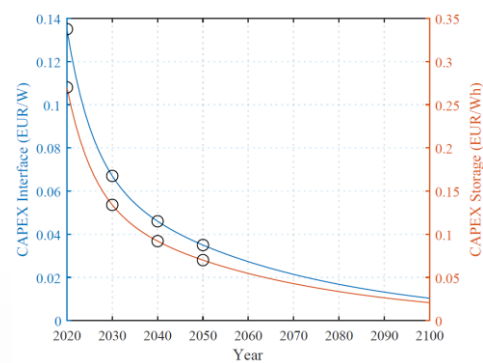
■ AWE



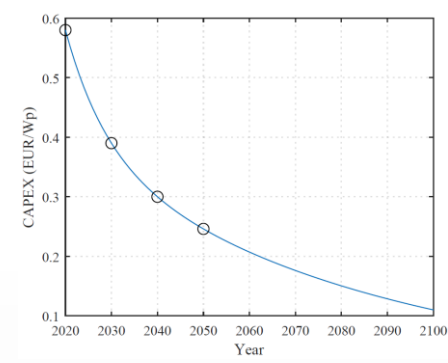
■ Wind



■ BESS



■ Solar PV



Reference years 2020, 2030, 2040, 2050 from: M. Fasihi, C. Breyer, Baseload electricity and hydrogen supply based on hybrid PV-wind power plants, Journal of Cleaner Production 243 (2020) 118466. doi:10.1016/j.jclepro.2019.118466